Я.С. Кублановский



СХЕМЫ НА ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

p
n
p
n

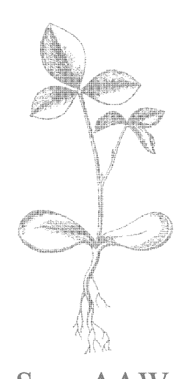
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 625

Я. С. КУБЛАНОВСКИЙ

СХЕМЫ НА ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1967

6Ф2.13
К 88

УДК 621. 382

Кублановский Я. С.

К 88 Схемы на четырехслойных полупроводниковых приборах. М., «Энергия», 1967.

24 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 625). 30 000 экз. 7 к.

Рассматриваются принципы действия и характеристики четырехслойных полупроводниковых приборов, приводятся схемы различных устройств (импульсные генераторы, переключатели, триггеры, инверторы и др.), выполненных на этих приборах. Рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

3-4-5
311-67

6Ф2.13

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наряду с различными электронными приборами в настоящее время широкое распространение получают полупроводниковые приборы с четырехслойной *p-n-p-n* структурой. Характеристики таких приборов близки к характеристикам идеального ключа. Они обладают очень большим (сотни и более килоом) сопротивлением в запертом и весьма малым (десятые доли ома) в отпертом состоянии. Эти свойства, а также высокая эксплуатационная надежность, большой срок службы, малые габариты, высокий к. п. д., способность с большой скоростью коммутировать значительные импульсные мощности позволяют считать четырехслойные полупроводниковые приборы наиболее перспективными для коммутирующих (переключающих) устройств.

Четырехслойные переключающие приборы уже сейчас с успехом конкурируют с тиратронами, мощными транзисторами, электромеханическими реле, причем схемы с четырехслойными полупроводниковыми приборами, как правило, более просты и содержат меньше элементов, чем аналогичные схемы с другими переключающими приборами. Однако многие радиолюбители еще недостаточно знакомы со свойствами четырехслойных полупроводниковых приборов и схемами, где они могут быть использованы. Объясняется это отсутствием популярной радиотехнической литературы, в которой были бы систематизированы такие сведения.

Эта брошюра в какой-то мере должна помочь радиолюбителям ознакомиться с новыми полупроводниковыми приборами. В ней рассматриваются принципы работы и характеристики четырехслойных полупроводниковых приборов, описывается ряд практических схем с такими приборами, приводятся рекомендации по выбору элементов схем.

Брошюра предназначена для подготовленных радиолюбителей. Она может представить интерес и для читателей, работающих в области прикладной электроники.

Я. Кублановский

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Полупроводниковые приборы с четырехслойной структурой *p-n-p-n* представляют собой один из видов устройств, проводящие и запирающие свойства которых определяются наличием в толще полупроводниковой пластины смежных слоев с различными типами проводимости. Такой прибор состоит из чередующихся слоев проводимостей *p* и *n* (рис. 1,*а*). Он может быть представлен в виде

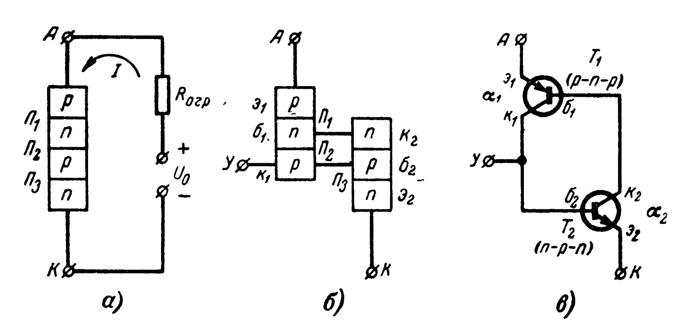


Рис. 1. Схематическое устройство четырехслойного полупроводникового прибора (*а*) и представление его в виде двухтранзисторной схемы (*б, в*).

двух транзисторов (*p-n-p* и *n-p-n*) с объединенными коллекторными переходами (переход $П_2$) и соединенными по схеме с положительной обратной связью (рис. 1,*б* и *в*). При этом база и коллектор транзистора T_1 соединяются соответственно с коллектором и базой транзистора T_2. Из рис. 1,*в* видно, что коллекторный ток одного транзистора проходит через базу другого, образуя цепь внутренней положительной обратной связи.

Обозначим через α_1 и α_2 коэффициенты передачи эмиттерных токов транзисторов T_1 (*p-n-p*) и T_2 (*n-p-n*). Если на зажимы *А* и *К* подать небольшое напряжение U_0 (полярность его показана на рис. 1,*а*), то оба эмиттерных перехода $П_1$ и $П_3$ будут смещены в прямом, а общий коллекторный переход $П_2$ в обратном направлениях. Напряжение источника U_0 практически окажется приложенным к переходу $П_2$.

Ток $I_{п2}$, протекающий через переход $П_2$, представляет собой сумму коллекторных токов обоих транзисторов и обратного тока запертого коллекторного перехода $П_2$, т. е.

$$I_{п2}=\alpha_1 I_{э1}+\alpha_2 I_{э2}+I_{ут},$$

где $I_{э1}$ и $I_{э2}$ — эмиттерные токи транзисторов T_1 и T_2;
$I_{ут}$ — ток утечки (обратный ток запертого коллекторного перехода $П_2$).

Очевидно, что токи $I_{э1}$, $I_{э2}$ и $I_{п2}$ должны быть одинаковы по величине с током во внешней цепи I, т. е. $I_{п2}=I_{э1}=I_{э2}=I$, поэтому

$$I=\frac{I_{ут}}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}.$$

Из этого выражения видно, что ток I зависит от значения коэффициентов α_1 и α_2; он резко возрастает, когда сумма $\alpha_1+\alpha_2$ приближается к единице. Пока напряжение U_0 между зажимами A и K невелико, коэффициенты α_1 и α_2 значительно меньше единицы, и ток I мал ($I\approx I_{ут}$). Оба транзистора находятся в выключенном состоянии, и сопротивление между зажимами A и K большое (сотни килоом). Это соответствует выключенному (запертому) состоянию прибора, которое иногда называют состоянием низкой проводимости (высокого сопротивления).

Существуют два способа увеличения коэффициентов α_1 и α_2. Известно, что коэффициент передачи тока эмиттера плоскостного транзистора возрастает по мере увеличения напряжения между коллектором и эмиттером. Поэтому если увеличивать напряжение U_0, то коэффициенты α_1 и α_2, а следовательно и ток I будут возрастать. При некотором значении напряжения $U_0=U_{вкл}$, где $U_{вкл}$ — напряжение включения (переключения), один из транзисторов, например T_1, начнет переходить в режим насыщения. Коллекторный ток этого транзистора, протекая в цепи базы второго транзистора T_2, отопрет последний, что в свою очередь вызовет появление тока в цепи базы транзистора T_1. Коллекторные токи обоих транзисторов лавинно нарастают, коэффициенты α_1 и α_2 резко увеличиваются, и оба транзистора переходят в режим насыщения. Сопротивление между зажимами A и K снижается до нескольких десятых долей ома. При этом $\alpha_1+\alpha_2\approx 1$, и ток I ограничивается лишь сопротивлением внешней цепи. Это соответствует включенному (отпертому) состоянию четырехслойного полупроводникового прибора, которое часто называют состоянием высокой проводимости (низкого сопротивления). Время переключения не превышает нескольких микросекунд.

Во включенном состоянии все три перехода четырехслойного полупроводникового прибора оказываются смещенными в прямом направлении, и падение напряжения на приборе становится равным нескольким вольтам, что примерно равно падению напряжения на обычном кремниевом диоде, находящемся в состоянии насыщения.

Второй способ увеличения коэффициентов α_1 и α_2 основан на том, что в кремниевых транзисторах коэффициент α в значительной мере зависит от тока эмиттера; он быстро возрастает при увеличении этого тока. Поэтому четырехслойный полупроводниковый прибор можно перевести во включенное состояние, если пропустить ток в цепи базы одного из транзисторов. Обычно в этом приборе

вывод делают от средней области p (база транзистора T_2). В этом случае для переключения четырехслойного полупроводникового прибора через цепь база — эмиттер (транзистор T_2) необходимо пропустить ток положительной полярности.

Оба рассмотренных способа увеличения коэффициентов α используются для включения четырехслойных полупроводниковых приборов.

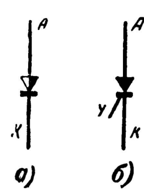


Рис. 2. **Условное изображение динистора** (*а*) **и тиристора** (*б*).

Крайнюю область p, к которой подключен положительный полюс источника U_0, в дальнейшем мы будем называть анодом A, крайнюю область n, к которой подключен отрицательный полюс источника катодом K, а вывод от средней области p управляющим электродом $У$. Естественно, что для четырехслойного полупроводникового прибора такие определения носят условный характер, однако ими удобно пользоваться при описании работы схем с этими приборами.

Следует отметить, что терминология, связанная с четырехслойными приборами *p-n-p-n*, до настоящего времени весьма разнообразна. В литературе можно встретить, например, такие названия: четырехслойный диод, переключающий диод, динистор, кремниевый управляемый вентиль, управляемый диод, тиристор и др. В этой брошюре двухэлектродные четырехслойные полупроводниковые приборы мы будем называть динисторами (сокращенно *Д*), а трехэлектродные — тиристорами (сокращенно *Т*). Условное изображение четырехслойных полупроводниковых приборов показано на рис. 2.

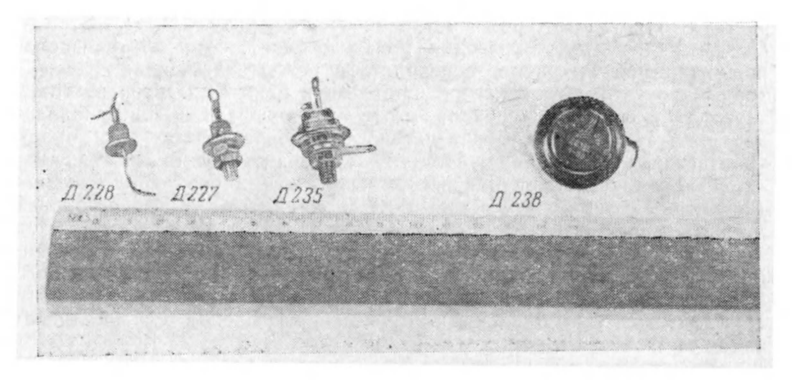


Рис. 3. Общий вид динисторов (Д228 и Д227) и тиристоров (Д235 и Д238) отечественного производства.

Четырехслойные полупроводниковые приборы (динисторы и тиристоры) изготовляются из кремния, что обусловлено, во-первых, сильной зависимостью в кремниевом приборе коэффициентов α от протекающего через него тока и, во-вторых, возможностью получить переходы при бóльших по сравнению с германиевыми приборами напряжениях.

Каждый такой прибор смонтирован в герметичном металлическом корпусе, предохраняющем его от внешних воздействий и обеспечивающем необходимый теплоотвод при работе. В приборах, рассчитанных на средние токи более 100 *ма*, анодный вывод обычно выполняется в виде болта, соединенного с корпусом. Внешний вид некоторых типов динисторов и тиристоров отечественного производства показан на рис. 3.

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПРИБОРОВ

Режим работы четырехслойных полупроводниковых приборов хорошо иллюстрируется их вольт-амперными характеристиками. На рис. 4 приведена типовая характеристика динистора. Здесь по горизонтальной оси отложено напряжение u (между анодом и катодом динистора), а по вертикальной — ток i через динистор. Участок характеристики при положительных напряжениях образует прямую, а при отрицательных — обратную ветвь характеристики.

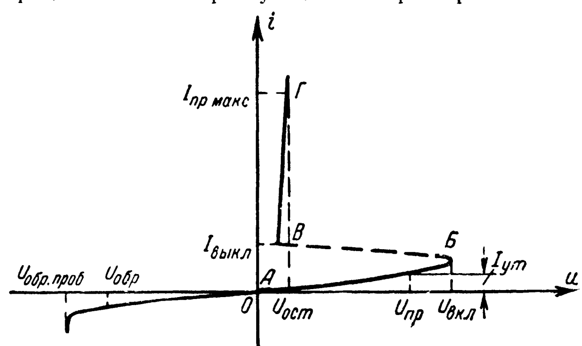


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика динистора.

Участок *АБ* характеристики соответствует выключенному состоянию (в прямом направлении) динистора. При напряжении $u_{пр}<U_{вкл}$ через динистор протекает небольшой ток утечки $I_{ут}$, величина которого указывается в паспортных данных прибора для определенного значения прямого напряжения $U_{пр}$. Повышение прямого напряжения не вызывает существенного увеличения тока, пока не будет достигнуто напряжение $U_{вкл}$. В этой точке характеристики (точка *Б*) динистор переключается в отпертое состояние (состояние высокой проводимости), если ток в цепи может установиться больше некоторой минимальной величины, называемой током выключения $I_{выкл}$. Прямое напряжение, соответствующее точке *Б* характеристики, называется напряжением включения (переключения) $U_{вкл}$.

После переключения рабочая точка быстро перемещается на участок характеристики *ВГ*, определяющий включенное состояние прибора. Чтобы поддерживать динистор в этом состоянии, через него должен проходить ток $i>I_{выкл}$. Падение напряжения (остаточное напряжение) $U_{ост}$ на отпертом четырехслойном полупроводниковом приборе обычно не превышает 1,5—2 *в*. Если прямой

ток уменьшить до величины $i<I_{выкл}$, то динистор вновь выключается. Участки *АБ* и *ВГ* характеристики определяют устойчивое, а участок *БВ* неустойчивое состояние динистора. Иными словами, при определенных напряжениях и токах рабочая точка может принципиально сколь угодно долгое время находиться на участке *АБ* или *ВГ*, а статическое состояние динистора, при котором бы рабочая точка располагалась на участке *БВ*, невозможно.

Если на четырехслойный полупроводниковый прибор подать напряжение обратной полярности, то оба крайних перехода окажутся смещенными в непроводящем направлении, и обратный ток будет очень мал. Когда это напряжение станет равным обратному пробивному напряжению $U_{обр\ проб}$ или превысит его, то наступит пробой, который, если активное сопротивление внешней цепи мало,

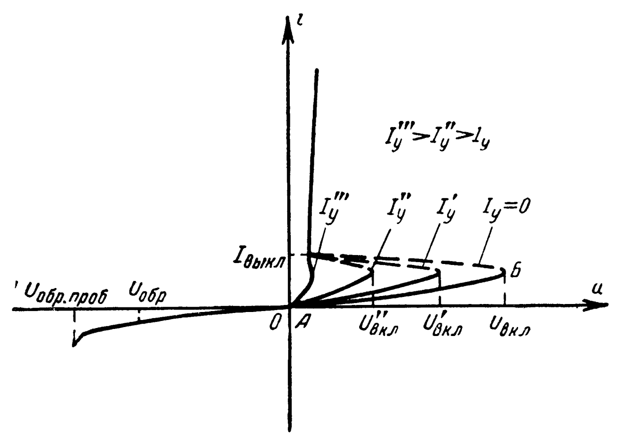


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики тиристора при различных токах в цепи управляющего электрода.

приведет к разрушению прибора. Поэтому подавать на такие приборы даже на короткое время напряжение, близкое к $U_{обр\ проб}$, нельзя.

Существенный недостаток динистора заключается в невозможности управлять величиной напряжения включения. Значительно бóльшими схемными возможностями обладают тиристоры.

На рис. 5 показано семейство вольт-амперных характеристик тиристора при различных токах $I_у$ в цепи управляющего электрода. Здесь кривая при токе $I_у=0$, аналогичная рассмотренной характеристике динистора, соответствует отключенному управляющему электроду. При увеличении тока управляющего электрода участок *АБ* характеристики укорачивается, и напряжение включения (переключения) понижается. При достаточно больших токах, например при токе $I'''_у$, участок характеристики, соответствующий запертому состоянию прибора в прямом направлении, исчезает, и вольт-амперная характеристика тиристора становится такой же, как и у обычного кремниевого вентиля.

Управляющий электрод тиристора играет роль своеобразного «поджигающего» электрода аналогично действию сетки в тиратроне). После включения тиристора током управляющего электрода

последний теряет свои управляющие свойства, и чтобы вновь выключить тиристор, необходимо уменьшить прямой ток ниже величины $I_{выкл}$. Тиристор может включаться при пропускании в цепи управляющего электрода импульсов тока длительностью всего лишь несколько микросекунд.

Способ переключения тиристора по цепи управляющего электрода имеет большие преимущества. Во-первых, он позволяет управлять тиристорами, напряжение переключения которых больше напряжения питания. Во-вторых, этот способ дает возможность коммутировать большие мощности маломощным управляющим сигналом (коэффициент усиления по мощности получается примерно 10^4—10^5).

Важной особенностью четырехслойных полупроводниковых приборов является их способность работать в импульсных режимах с токами $I_{пр\ имп}$, значительно превышающими наибольший прямой постоянный ток $I_{пр\ макс}$. Это позволяет при помощи таких приборов переключать большие импульсные мощности (10—15 *квт* и более).

СПОСОБЫ ВКЛЮЧЕНИЯ И ВЫКЛЮЧЕНИЯ ПРИБОРОВ

В большинстве схем четырехслойные полупроводниковые приборы выполняют функцию импульсного ключа, т. е. переключаются из одного состояния в другое посредством пусковых импульсов. Основные требования, предъявляемые к таким приборам в этих схемах, заключаются в надежности сохранения выключенного или включенного состояния и быстром переходе из одного состояния в другое при подаче напряжения переключающих (пусковых) импульсов $U_{пуск}$.

Для надежного сохранения выключенного (запертого) состояния необходимо, чтобы прямое напряжение на приборе $U_{пр} \leqslant (0{,}7 \div 0{,}8) U_{вкл}$. Гарантируемое паспортными данными напряжение $U_{пр}$ для данного типа четырехслойного полупроводникового прибора обычно соответствует этому условию.

Динистор перейдет из выключенного во включенное состояние, если приложенное к нему прямое напряжение превысит напряжение включения, т. е. при $U_{пр} \geqslant U_{вкл}$. При напряжении источника питания $U_0 < U_{вкл}$ переключение может осуществляться путем подачи импульсного пускового напряжения $U_{пуск}$ соответствующей полярности; суммарное напряжение между электродами в этом случае должно удовлетворять условию $U_0 + |U_{пуск}| \geqslant U_{вкл}$.

На рис. 6 приведено несколько схем с динисторами, переключаемых импульсами различной полярности. Последовательное включение обычного диода ($Д_2$ на рис. 6,*в* и *г*), для которого полярность запускающего импульса имеет обратное смещение, увеличивает входное сопротивление схемы при выключенном динисторе. При переключении прибора в проводящее состояние обычный диод не препятствует прохождению тока через нагрузку. Если необходимо иметь большое входное сопротивление и при отпертом динисторе, то запускающий импульс подают через резистор.

Тиристоры, как правило, работают в режиме, при котором соблюдается условие $U_0 < U_{вкл}$, и переключаются из непроводящего в проводящее состояние подачей в цепь управляющего электрода импульса тока. При этом включение тиристора происходит с некоторым запаздыванием. Время включения $\tau_{вкл}$ тиристора можно разбить на два интервала: время задержки $\tau_з$ (необходимое для на-

копления в базовой области минимального заряда, достаточного для развития лавинообразного процесса) и время установления $\tau_{уст}$ состояния высокой проводимости. Уровни, по которым принято производить отсчет указанных интервалов, показаны на рис. 7.

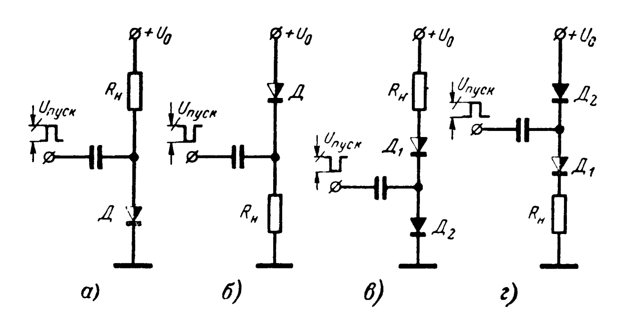


Рис. 6. Схемы включения динистора.
а и *г* — для включающего импульса положительной полярности; *б* и *в* — для включающего импульса отрицательной полярности.

Для надежного переключения тиристора необходим запускающий импульс длительностью $\tau_{пуск} > \tau_з$. При бо́льших токах $I_у$ в цепи управляющего электрода время $\tau_з$ несколько сокращается и, следовательно, длительность запускающего импульса может быть уменьшена. По экспериментальным данным, например, для тиристоров типов Д235 и Д238 при максимальном управляющем токе $I_{у.макс}$ длительность запускающего импульса должна быть не менее 1,5—3 *мксек*. Источник запускающих импульсов должен обладать достаточно низким выходным сопротивлением, чтобы обеспечить необходимую величину управляющего тока.

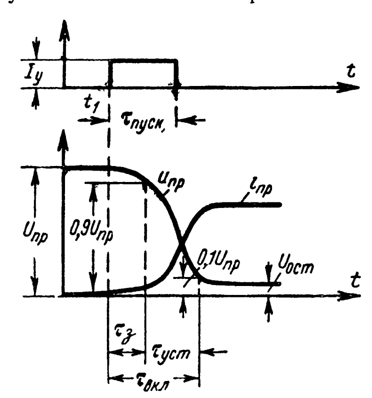


Рис. 7. График, иллюстрирующий процесс включения тиристора.

Две схемы подачи запускающих импульсов показаны на рис. 8. В схеме на рис. 8,*а* емкость развязывающего конденсатора *C* (если необходимо его включение) должна быть такой, чтобы к концу действия пускового импульса в цепи управляющего электрода поддерживался ток $I_у \geqslant I_{у.мин}$. Обычно емкость этого конденсатора выбирают в пределах 0,03—0,1 *мкф*. Диод *Д* предотвращает появление отрицательного импульса на управляющем электроде тиристора *T* при разряде конденсатора *C*. Последний можно не включать, если на выходе источника запускающих импульсов в паузах между импульсами нет постоянного напряжения.

Для ограничения тока $I_у$ до безопасного для тиристора значения в цепь управляющего электрода (при необходимости) рекомендуется включать резистор $R_{огр}$ сопротивлением в несколько десятков ом. Резистор $R_у$ сопротивлением 0,5—3 *ком* обеспечивает гальваническую связь управляющего электрода с катодом тиристора. При индуктивной нагрузке для надежного включения прибора целесообразно шунтировать эту нагрузку резистором, сопротивление

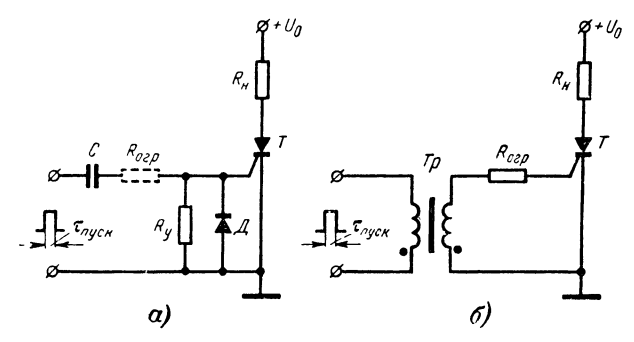


Рис. 8. Схемы включения тиристора.
а — через конденсатор связи; *б* — через импульсный трансформатор.

которого должно быть существенно больше активного сопротивления нагрузки.

Для переключения четырехслойных полупроводниковых приборов всех типов из отпертого в запертое состояние необходимо, чтобы прямой ток $I_{пр}$ был меньше тока выключения, т. е. $I_{пр} < I_{выкл}$ (для тиристоров в этом случае управляющий ток $I_у$ должен быть равен нулю). Практически выключение осуществляется одним из следующих способов: 1) разрывом анодной цепи; 2) увеличением сопротивления резистора, включенного последовательно с прибором; 3) кратковременной подачей на анод напряжения обратной полярности.

Последний способ выключения иллюстрируется схемой с тиристором на рис. 9. При отпирании тиристора T начинает заряжаться конденсатор C и через промежуток времени $t \approx 3\tau$, где $\tau = RC$ — постоянная времени цепи заряда, напряжение на этом конденсаторе U_C становится близким к напряжению питания U_0. При нажатии кнопки *Кн* к тиристору оказывается приложенным обратное напряжение $U_{обр} = U_C$, что приводит к его выключению (конечно, если $U_0 < U_{вкл}$). Аналогичная схема может использоваться и при выключении динистора.

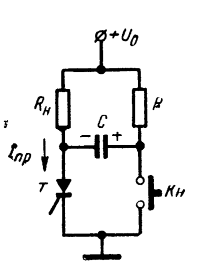


Рис. 9. Схема выключения тиристора с коммутирующим конденсатором.

При таком способе выключения следует применять четырехслойные полупроводниковые приборы, имеющие гарантированное обратное напряжение $U_{обр} \approx U_{пр}$. Емкость коммутирующего конденсатора C должна быть достаточно большой, чтобы обратное напряжение на приборе сохранялось в течение времени, необходи-

мого для его выключения. Эта емкость (в микрофарадах) может быть найдена из соотношения

$$C \geqslant \frac{I_{пр}\tau_{выкл}}{U_0},$$

где $I_{пр}$ — прямой ток (ток нагрузки), *а*;
$\tau_{выкл}$ — время выключения прибора, *мксек*;
U_0 — напряжение источника питания, *в*.

Время выключения $\tau_{выкл}$ четырехслойных полупроводниковых приборов разделяется на два интервала: время спада $\tau_с$ прямого тока $I_{пр}$ до $0{,}1I_{пр}$ и время $\tau_{восст}$, необходимое для восстановления управляющих свойств прибора. Время спада обычно не превышает 1 *мксек*. Время восстановления зависит от ряда причин, например, $\tau_{восст}$ пропорционально температуре перехода и величине прямого тока, протекавшего через прибор непосредственно перед его вы-

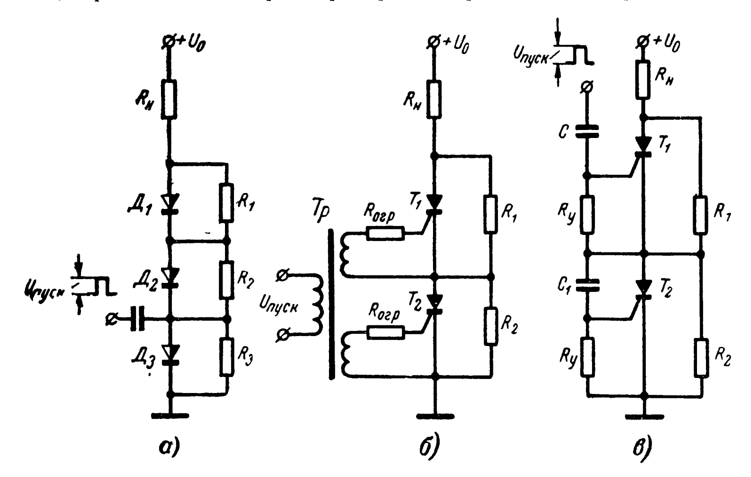


Рис. 10. Схемы запуска последовательно включенных четырехслойных полупроводниковых приборов.

а — включение цепочки динисторов; *б* — переключение тиристоров при помощи импульсного трансформатора *Тр*; *в* — включение тиристоров при помощи конденсатора связи C_1.

ключением. Время выключения $\tau_{выкл} = \tau_с + \tau_{восст} \approx \tau_{восст}$ приводится в паспортных данных прибора.

На прибор в течение промежутка $t < \tau_{выкл}$ нельзя повторно подавать прямое напряжение. Как показывают экспериментальные данные при подаче на четырехслойные полупроводниковые приборы обратного напряжения время $\tau_{выкл}$ уменьшается примерно на 20—30%. Продолжительность процесса выключения $\tau_{выкл}$ определяет минимальный интервал между двумя последовательными включениями прибора, т. е. предельную частоту коммутации. Четырехслойные полупроводниковые приборы могут работать на частотах до нескольких десятков килогерц.

Если требуется увеличить коммутируемую мощность, то необходимо повысить напряжение, так как прямой ток четырехслойных полупроводниковых приборов ограничивается предельным током в импульсе $I_{пр\ имп}$. Увеличение коммутируемого напряжения может быть достигнуто путем последовательного включения приборов, как показано на рис. 10. Поскольку сопротивления приборов в запертом состоянии могут существенно различаться, то при последовательном их включении для выравнивания напряжений на отдельных приборах последние следует шунтировать резисторами (R_1, R_2, R_3 на рис. 10). При последовательном включении приборов одного типа запертое состояние сохраняется, если $U_0 < mU_{вкл}$, где m—число приборов.

Переключение последовательной цепочки динисторов (рис. 10,*а*) может осуществляться при подаче напряжения запускающего импульса $U_{пуск} \geqslant U_{вкл} - (U_0/m)$ на нижний (по схеме) динистор. Когда этот динистор переключается в отпертое состояние, напряжение питания U_0 делится между остальными динисторами, и если $U_0 > (m-1)U_{вкл}$, то вся цепь динисторов переключается в проводящее состояние.

Схемы переключения последовательно включенных тиристоров показаны на рис. 10,*б* и *в*. В схеме на рис. 10,*в* запускающий импульс подается только в цепь управляющего электрода верхнего (по схеме) тиристора, второй же тиристор включается импульсом зарядного тока конденсатора C_1. При большом числе тиристоров (5—6 и более) запускающие импульсы могут подаваться только на часть из них; возрастание напряжения на остальных тиристорах приводит к срабатыванию их, как двухэлектродных приборов.

СХЕМЫ УСТРОЙСТВ С ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫМИ ПРИБОРАМИ

УСТРОЙСТВА С ДИНИСТОРАМИ

Импульсный ключ. Для этой схемы (рис. 11,*а*) напряжение источника питания выбирают из условия $U_0 < U_{вкл}$. Тогда при отсутствии запускающего импульса динистор $Д_1$ выключен. При по-

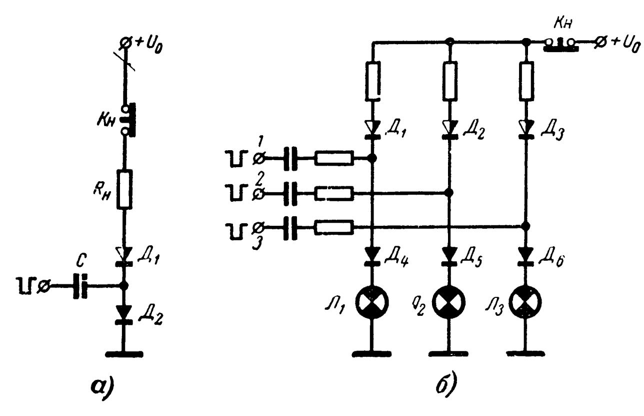


Рис. 11. Ключевые схемы на динисторах.
а — импульсный ключ; *б* — индикатор (сигнализатор).

даче же импульса, амплитуда которого удовлетворяет условию $U_0+|U_{пуск}|\geqslant U_{вкл}$, динистор включается и нагрузка $R_н$ подключается к источнику питания. Если $U_0/R_н>I_{выкл}$, то схема останется в таком состоянии до тех пор, пока не будет нажата кнопка *Кн*, отключающая нагрузку от источника питания.

Подобную схему можно использовать в запоминающих устройствах, в индикаторах счетных устройств, в устройствах сигнализации и пр. В качестве примера на рис. 11,*б* приведена схема индикатора (сигнализатора). Здесь каждая сигнальная лампа $Л_1$, $Л_2$ или $Л_3$ загорается при появлении импульса в канале *1*, *2* или *3*. Выключаются лампы кнопкой *Кн*.

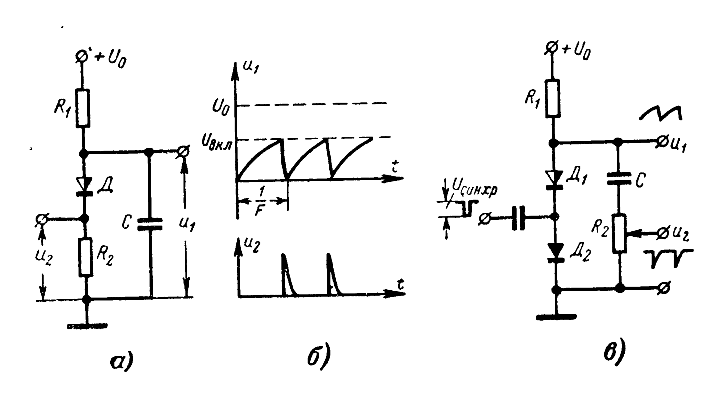


Рис. 12. Генераторы пилообразного напряжения.
а — схема несинхронизированного генератора; *б* — форма выходного напряжения; *в* — схема синхронизированного генератора.

Генератор пилообразного напряжения. Схема генератора (рис. 12,*а*), выполненная на динисторе, идентична обычной схеме релаксационного генератора с неоновой лампой, но имеет лучшие характеристики по сравнению с последней. Так, например, время выключения динистора меньше времени деионизации газонаполненной (неоновой) лампы, а поэтому частота повторения в генераторе с динистором может быть получена более высокой (до нескольких десятков килогерц). Поскольку падение напряжения на динисторе меньше, чем на лампе (где оно примерно 40—50 *в*), то при одинаковых напряжениях источника питания U_0 амплитуда выходного напряжения генератора с динистором получается больше.

Генератор работает следующим образом. После включения напряжения питания U_0, которое должно быть больше $U_{вкл}$, конденсатор *С* начнет заряжаться через резистор R_1. Напряжение на конденсаторе будет нарастать до тех пор, пока не достигнет значения $U_{вкл}$. В этот момент динистор *Д* переключится в проводящее состояние и разрядит конденсатор. Если сопротивление резистора R_1 выбрано таким, что $U_0/R_1<I_{выкл}$, то после разряда конденсатора динистор вновь вернется в непроводящее состояние, и цикл переключения будет повторяться. Резистор $R_2\ll R_1$ включен для ограничения тока разряда конденсатора до безопасной для динистора величины.

Для получения хорошей линейности пилообразного напряжения необходимо, чтобы $U_0 \gg U_{вкл}$. Частота повторения пилообразных импульсов определяется формулой

$$F = \frac{1}{R_1 C \ln \frac{1}{1-\gamma}},$$

где

$$\gamma = U_{вкл}/U_0.$$

Пилообразное напряжение u_1 (рис. 12,*б*) снимается с конденсатора C, а с резистора R_2 можно снять короткие импульсы u_2 положительной полярности. Если же включить этот резистор не в катод динистора, а между конденсатором и корпусом, то импульсы на нем будут иметь отрицательную полярность. Такие импульсы могут использоваться, например, для синхронизации следующих каскадов.

Генератор можно синхронизировать на более высокой частоте, чем частота собственных колебаний, подачей внешних импульсов отрицательной полярности (рис. 12,*в*). Динистор $Д_1$ будет переключаться в проводящее состояние в тот момент, когда амплитуда синхронизирующего импульса $U_{синхр}$ и напряжение на конденсаторе U_C в сумме превысят напряжение $U_{вкл}$, т. е. $U_C + |U_{синхр}| \geqslant U_{вкл}$.

Делитель частоты. В предыдущей схеме напряжение на конденсаторе C нарастает по экспоненте Если в момент прихода синхронизирующего импульса напряжение U_C таково, что еще $U_C + |U_{синхр}| < U_{вкл}$, то динистор не включится. Соответствующим выбором амплитуды синхронизирующих импульсов в генераторе на рис. 12,*в* можно добиться того, что динистор будет переключаться не от первого, а от второго, третьего и т. д. импульса, и на выходе будут получаться субгармоники частоты входного сигнала.

На рис. 13 приведена схема трехкаскадного делителя частоты. Если в каждом каскаде коэффициент деления $n_1 = n_2 = n_3 = 2$, то частота выходного сигнала $F_3 = {}^1/_8 F_0$.

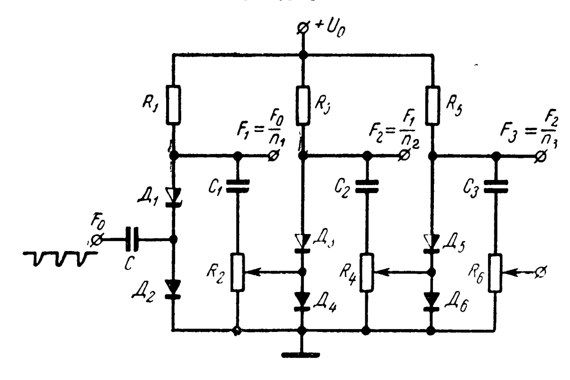


Рис. 13. Схема делителя частоты на динисторах.

Мультивибраторы. Схемы мультивибраторов на динисторах очень просты; в них используется только один коммутирующий конденсатор. Последний заряжается во время одного из состояний мультивибратора, и затем напряжение на конденсаторе используется для выключения отпертого динистора, когда включается второй, ранее запертый динистор. После этого мультивибратор переходит во второе состояние.

На рис. 14,*а* приведена схема самовозбуждающегося мультивибратора. Элементы его схемы выбираются такими, чтобы для каждого из динисторов выполнялось условие $U_0 > U_{вкл}$. Рассмотрим кратко работу этой схемы.

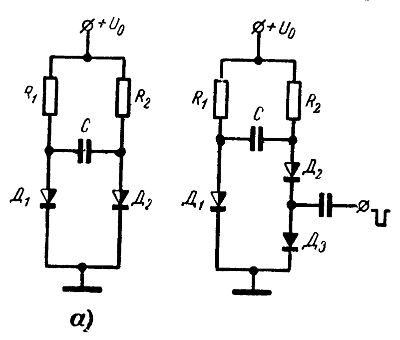


Рис. 14. Схемы мультивибраторов на динисторах.

а — самовозбуждающийся мультивибратор; *б* — ждущий мультивибратор.

При включении мультивибратора один из его динисторов должен переключиться в отпертое состояние. Предположим, что первым переключится динистор $Д_1$. Тогда конденсатор C начнет заряжаться, и зарядный ток, проходя через резистор R_2, снизит напряжение на динисторе $Д_2$, препятствуя тем самым переключению этого динистора одновременно с первым. Когда напряжение на конденсаторе достигнет напряжения включения $U_{вкл2}$ динистора $Д_2$, последний переключится в отпертое состояние. К динистору $Д_1$ окажется приложенным обратное напряжение, равное напряжению $U_{вкл\,2}$, так как напряжение на конденсаторе за время переключения динистора $Д_2$ заметно не изменится. Динистор $Д_1$ при этом выключится, и мультивибратор изменит свое состояние, которое опять-таки будет неустойчивым. Конденсатор C после этого будет перезаряжаться через резистор R_1 и динистор $Д_2$. Когда напряжение на конденсаторе станет равным $U_{вкл\,1}$ динистора $Д_1$, последний переключится в отпертое состояние, что приведет к выключению динистора $Д_2$. Затем цикл переключений повторится.

При одинаковых плечах мультивибратора ($R_1 = R_2 = R$, $U_{вкл\,1} = U_{вкл\,2} = U_{вкл}$) выходное напряжение имеет форму симметричных прямоугольных импульсов.

Для самовозбуждения мультивибратора, кроме выполнения условия $U_0 > U_{вкл}$, необходимо также, чтобы $(U_0 - U_{вкл})/R > I_{выкл}$.

Емкость конденсатора C (в микрофарадах) должна удовлетворять следующему условию:

$$C \geqslant \frac{I_{пр}\tau_{выкл}}{U_0}.$$

Частота колебаний определяется по формуле

$$F = \frac{1}{2RC \ln \frac{1}{1-\gamma}},$$

где $\gamma = U_{вкл}/U_0$.

Схема ждущего мультивибратора (спусковое устройство с одним устойчивым состоянием), приведенная на рис. 14,*б*, подобна рассмотренной схеме за исключением того, что один из динисторов выбирается таким, чтобы его напряжение включения $U_{вкл}$ было больше напряжения питания U_0. Пусть с таким условием выбран динистор $Д_2$, т. е. $U_{вкл\,2}>U_0>U_{вкл\,1}$, тогда при включении мультивибратора динистор $Д_1$ переключится в отпертое состояние, а конденсатор C зарядится до напряжения $U_C \approx U_0$. Мультивибратор будет оставаться в таком состоянии (конечно, если $U_0/R_1>I_{выкл1}$) до тех пор, пока подаваемый на динистор $Д_2$ запускающий отрицательный импульс, не включит его. Динистор $Д_1$ при этом выключится, и конденсатор начнет перезаряжаться через резистор R_1, динистор $Д_2$ и обычный диод $Д_3$, пока напряжение на нем не станет $U_C \approx U_{вкл1}$. В этот момент включится динистор $Д_1$ и выключится динистор $Д_2$, и мультивибратор вернется в исходное устойчивое состояние.

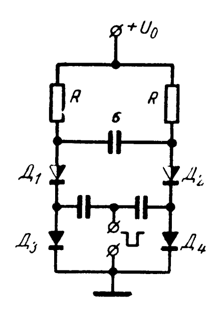


Рис. 15. Схема триггера на динисторах.

Длительность вырабатываемого мультивибратором импульса, определяется значениями R_1, C и $(\gamma=U_{вкл1}/U_0)$:

$$\tau_{вых} = R_1 C \ln \frac{1}{1-\gamma},$$

а время восстановления схемы, связанное с продолжительностью заряда конденсатора C через резистор R_2, определяется как:

$$t_в \approx 3R_2C.$$

Триггер. Если для предыдущей схемы динисторы выбрать из условия $U_0<U_{вкл}$, а сопротивления резисторов в каждом ее плече будут соответствовать требованию $U_0 - U_{вкл}/R>I_{вкл}$, то получится спусковая схема (рис. 15) с двумя устойчивыми состояниями (триггер). В отсутствии запускающих импульсов оба динистора заперты. Отрицательный запускающий импульс включит один из динисторов, например $Д_1$, и триггер перейдет в первое устойчивое состояние. Конденсатор C при этом зарядится до $U_C \approx U_0$. Следующий отрицательный импульс включит запертый динистор $Д_2$, динистор $Д_1$ при этом за счет напряжения на коммутирующем конденсаторе выключится и триггер перейдет во второе устойчивое состояние. Таким образом, смена состояний триггера будет происходить при подаче каждого запускающего импульса. Длительность выходного импульса триггера не зависит от запускающего импульса, если длительность последнего мала по сравнению с постоянной времени RC. Выходные импульсы триггера снимаются с анодов одного или обоих динисторов.

Подобные схемы триггера могут с успехом применяться в счетных и запоминающихся ячейках, делителях частоты и т. п.

Кольцевая счетная схема. На рис. 16 приведена схема пятиступенчатого кольцевого счетчика, в каждом каскаде которого используется только один динистор. Динисторы $Д_6 - Д_{10}$ выбирают такими,

чтобы для них выполнялось условие $U_0 > U_{вкл}$. Один из динисторов, например $Д_6$, выбирается с более низким, чем у остальных, напряжением переключения.

При подаче питающего напряжения отопрется динистор $Д_6$ и загорится неоновая лампа $Л_1$. Остальные динисторы останутся запертыми, так как напряжение на них снизится из-за падения напряжения на резисторе R_1, и неоновые лампы $Л_2$—$Л_5$ не загорятся. Конденсатор C при этом зарядится примерно до напряжения питания, а напряжение на конденсаторе C_1 будет равно напряжению в точке *a* (полярность напряжения на конденсаторах показана на рис. 16).

Резистор R, конденсатор C и динистор $Д$ составляют схему импульсного генератора, который с приходом запускающего им-

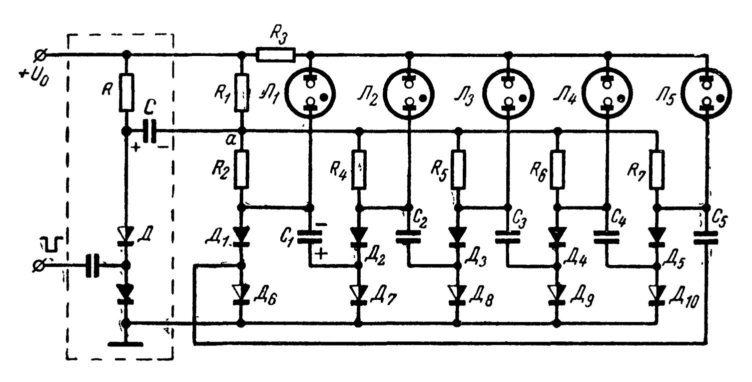


Рис. 16. Кольцевая счетная схема на динисторах.

пульса вырабатывает отрицательное напряжение, переключающее одну за другой ступени счетчика. Напряжение переключения динистора $Д$ выбирают из условия $U_0 < U_{вкл}$, а сопротивление резистора R должно быть таким, чтобы $\frac{U_0}{R}$ было меньше тока выключения этого динистора.

Запускающий импульс включает динистор $Д$, и в точке *a* возникает отрицательное напряжение $U_C \approx U_0$, которое выключает динистор $Д_6$. По мере перезаряда конденсатора C напряжение в точке *a* повышается. Это напряжение, суммируясь с напряжением на конденсаторе C_1, подается в прямом направлении на динистор $Д_7$ и отпирает его. При этом лампа $Л_1$ гаснет, а лампа $Л_2$ загорается. Следующий импульс выключает динистор $Д_7$ и включает динистор $Д_8$. Таким образом, каждый запускающий импульс выключает отпертый динистор и включает следующий за ним запертый. Последний динистор $Д_{10}$ включает первый динистор.

Генератор ступенчатого напряжения. На рис. 17,*а* показана схема генератора, выходное напряжение которого имеет ступенчатую форму (рис. 17,*б*). Напряжение такой формы используется в различных счетных устройствах. Напряжение источника питания U_0 генератора выбирают примерно в 1,5—2 раза больше суммы напряжений включения $U_{вкл\,1} + U_{вкл\,2}$ обоих его динисторов.

Емкость конденсатора C_1 (например, 0,01—0,05 *мкф*) должна быть в несколько раз меньше емкости конденсатора C_2 (например, 0,2—0,3 *мкф*).

Генератор работает следующим образом. В момент замыкания выключателя *Вк* напряжение источника питания U_0 целиком оказывается приложенным к динистору $Д_1$. Поскольку условие $U_0 > U_{вкл\,1}$ выполняется с запасом, этот динистор отопрется и включенные последовательно с ним конденсаторы C_1 и C_2 начнут заряжаться (цепь заряда конденсаторов показана на схеме сплошной линией). По мере заряда конденсаторов ток через динистор $Д_1$ будет уменьшаться, и когда он станет меньше тока выключения, динистор запрется. К концу зарядного интервала напряжение U_1 на конденсаторе C_1 будет существенно больше напряжения U_2 на конденсаторе C_2, так как $C_2 \gg C_1$, а $U_1/U_2 = C_2/C_1$.

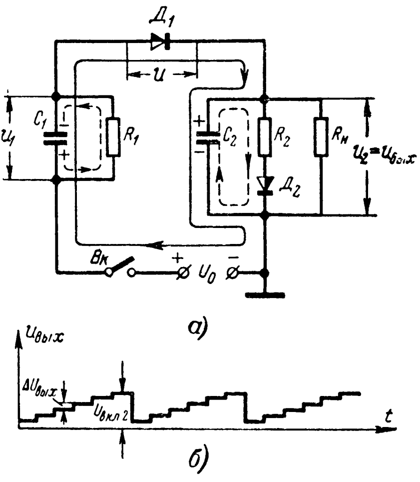


Рис. 17. Схема генератора ступенчатого напряжения на динисторах (*а*) и форма выходного напряжения (*б*).

При выключенном (запертом) динисторе $Д_1$ конденсатор C_2 почти не разряжается (цепь разряда конденсаторов показана на схеме штриховой линией), и напряжение на нем практически не изменяется. В то же время конденсатор C_1 разряжается через резистор R_1, напряжение u на динисторе $Д_1$ повышается, и когда это напряжение достигает значения $U_{вкл1}$, динистор $Д_1$ вновь отпирается. Затем цикл повторяется. В результате таких следующих один за другим циклов напряжение на конденсаторе C_2 ступенчато возрастает до напряжения переключения $U_{вкл2}$ динистора $Д_2$. При включении динистора $Д_2$ конденсатор C_2 разряжается, формирование ступенчатого сигнала прекращается, и генератор возвращается в исходное состояние.

Сопротивление резистора R_1 определяет скорость разряда конденсатора C_1 и, следовательно, длительность каждой ступеньки. Если это сопротивление значительно больше сопротивления, через которое происходит заряд конденсаторов C_1 и C_2 (внутреннее сопротивление отпертого динистора $Д_1$), то фронт ступеньки получается во много раз короче ее длительности. Резистор R_2 ограничивает ток разряда конденсатора C_2 до безопасного значения. Сопротивление нагрузки $R_н$ должно быть достаточно большим (единицы мегом), чтобы предотвратить заметную утечку заряда с конденсатора C_2 в процессе построения ступенчатого сигнала.

Амплитуда каждой ступеньки выходного сигнала определяется выражением

$$\Delta U_{вых} = U_{вкл\,1} \frac{C_1}{C_1 + C_2},$$

а максимальное число ступенек

$$n = \frac{U_{\text{вкл}2}}{U_{\text{вкл}1}} \frac{C_1 + C_2}{C_1}.$$

На основе рассмотренной схемы можно построить генератор, который бы синхронизировался внешним сигналом.

УСТРОЙСТВА С ТИРИСТОРАМИ

В рассмотренных выше схемах можно использовать и трехэлектродные четырехслойные полупроводниковые приборы — тиристоры. При этом появляются следующие дополнительные преимущества: во-первых, управление в схемах с тиристорами осуществляется на низком уровне напряжения маломощным сигналом, и, во-вторых, расширяется диапазон напряжений, которые можно коммутировать тиристором одного типа.

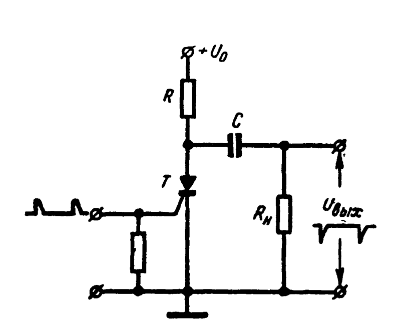


Рис. 18. Схема импульсного генератора на тиристоре.

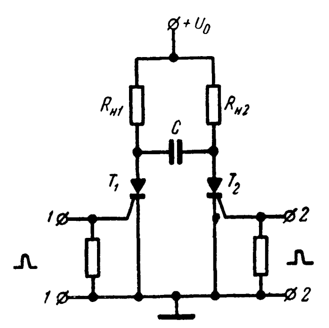


Рис. 19. Схема триггера на тиристорах.

Импульсный генератор. Напряжение источника для импульсного генератора (рис. 18) выбирают из условия $U_0 < U_{\text{вкл}}$, а сопротивление резистора R должно быть таким, чтобы $\frac{U_0}{R} < I_{\text{выкл}}$. В интервалах между импульсами конденсатор C заряжается до напряжения $U_C \approx U_0$ и затем быстро разряжается через сопротивление нагрузки $R_\text{н}$ и тиристор T, когда на последний подается запускающий импульс. При работе генератора с различными частотами повторения импульсов постоянную времени $\tau = (R + R_\text{н})C$ нужно выбирать такой, чтобы конденсатор C успевал заряжаться в течение самых коротких интервалов между импульсами.

Если вместо конденсатора C в схему включить формирующую цепь (например, искусственную линию), то форма импульса на нагрузке получится близкой к прямоугольной. Подобная схема генератора с успехом может использоваться в электронной системе зажигания для двигателей внутреннего сгорания.

Триггер. Принцип работы триггера на тиристорах (рис. 19) такой же, как и ранее рассмотренного триггера на динисторах (см. рис. 15). Поочередная подача на зажимы *1* или *2* положитель-

ных импульсов включает запертый тиристор, который в свою очередь выключает отпертый тиристор.

Такая схема может использоваться в качестве переключателя мощности между двумя нагрузками $R_{н1}$ и $R_{н2}$ вместо механических или электромеханических переключателей.

Переключатель с временно́й задержкой. Такой переключатель (рис. 20) включает нагрузку через определенный заранее заданный промежуток времени после включения источника питания. Тиристор T для него подбирают таким, чтобы при включении устройства он был выключенным (это соответствует условию $U_0 < U_{вкл}$) Тогда через нагрузку будет проходить лишь ток утечки тиристора После включения устройства конденсатор C начнет за-

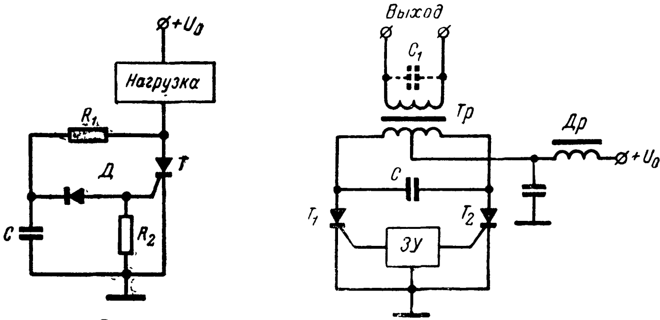


Рис. 20. Схема переключателя с временно́й задержкой на тиристоре.

Рис. 21. Схема инвертора на тиристорах.

ряжаться, и когда напряжение на нем достигнет значения напряжения стабилизации стабилитрона $Д$, последний включится, и в цепи управляющего электрода тиристора будет проходить ток. Тиристор отопрется, и нагрузка подключится к источнику питания. Если ток нагрузки $I_н > I_{выкл}$, то тиристор будет включенным до тех пор, пока не будет выключен источник питания. Время задержки определяется постоянной времени R_1C.

Инвертор. На рис. 21 показана схема преобразователя (инвертора) постоянного тока в переменный с внешним запуском. Если на выходе инвертора включить выпрямитель, то такое устройство можно использовать как преобразователь постоянного напряжения. Тиристоры T_1 и T_2 в этом инверторе поочередно отпираются, создавая в каждой половине первичной обмотки трансформатора $Тр$ прямоугольные импульсы тока. На вторичной обмотке трансформатора возникает переменное напряжение прямоугольной формы. При необходимости получить переменное напряжение, близкое по форме к синусоидальной, во вторичную обмотку трансформатора включают конденсатор C_1. Следует иметь в виду, что на коммутирующем конденсаторе C создается напряжение около $2U_0$.

Коэффициент полезного действия такого преобразователя около 90%. В качестве запускающего устройства $ЗУ$ может быть использован транзисторный мультивибратор.

Регулятор мощности переменного тока. Такое устройство (рис. 22) может быть использовано для изменения мощности, поступающей от источника переменного тока в нагрузку $Н$ (напри-

мер, для изменения яркости ламп, регулирования числа оборотов электродвигателя и пр.).

Регулятор состоит из обычного выпрямителя, собранного по схеме моста, в диагональ которого включен тиристор *Т*. Последний управляется динистором $Д_5$.

В начале каждого полупериода переменного тока заряд конденсатора *С* равен нулю. По мере увеличения переменного напряжения от нуля до амплитудного значения этот конденсатор заряжается выпрямленным током через резисторы R_1 и R_2. Когда напряжение на конденсаторе достигнет напряжения включения динистора $Д_5$, последний отопрется, вместе с ним отопрется и тиристор. Конденсатор при этом разрядится и будет оставаться разряженным в течение времени, соответствующего остатку полуволны переменного напряжения (пока отперт тиристор).

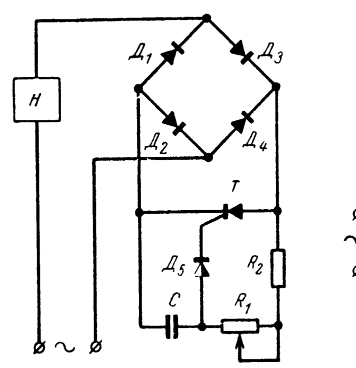


Рис. 22. Схема регулятора мощности переменного тока.

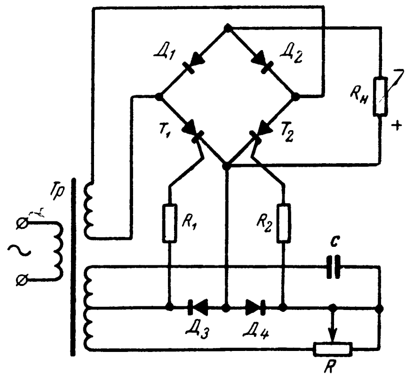


Рис. 23. Схема регулируемого выпрямителя.

Отпертый тиристор представляет собой эффективную нагрузку для выпрямительного моста. При этом он вызывает большой ток в цепи, питающей выпрямитель, увеличивая тем самым мощность в нагрузке

По окончании полупериода переменного напряжения тиристор запирается, а при следующем полупериоде процесс повторяется. Чем меньше суммарное сопротивление резисторов R_1 и R_2, тем быстрее заряжается конденсатор и тем бо́льшую часть полупериода переменного напряжения будет отперт тиристор. Таким образом, изменяя сопротивление резистора R_1, можно регулировать мощность, поступающую в нагрузку.

Регулируемый выпрямитель. Тиристоры с успехом могут использоваться как регулирующие элементы в цепях переменного тока. При выполнении таких функций тиристор должен включаться (отпираться) при положительных полупериодах переменного напряжения на его аноде. Если момент включения тиристора (по управляющему электроду) не совпадает с началом положительного полупериода, то он будет проводить ток только в течение определенной части полупериода. Изменяя задержку момента включения тиристора, можно регулировать подводимую к нагрузке мощность.

Выключение тиристора происходит при изменении полярности напряжения на его аноде в течение следующего полупериода переменного напряжения.

Замена в выпрямительных схемах обычных диодов тиристорами позволяет регулировать мощность, поступающую к нагрузке постоянного тока. На рис. 23 показана мостовая выпрямительная схема, в два плеча которой включены тиристоры. Для сдвига фазы переменного тока (отпирающего тиристоры) в пределах 0—180° относительно фазы анодного напряжения в схему включена фазосдвигающая цепь RC. Выходное напряжение регулируется (от нуля до максимума) переменным резистором R.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДИНИСТОРОВ ТИПОВ Д227А—Д227И и Д228А—Д228И

Параметр	Тип динистора							
	Д227А Д228А	Д227Б Д228Б	Д227В Д228В	Д227Г Д228Г	Д227Д Д228Д	Д227Е Д228Е	Д227Ж Д228Ж	Д227И Д228И
Напряжение включения $U_{вкл}$ *в*	10—20	14—18	20—40	28—56	40—80	56—112	80—160	100—200

Для всех этих динисторов ток выключения $I_{выкл} \leqslant 15$ *ма*, наибольшее обратное напряжение $U_{обр}=10$ *в*, обратный ток $I_{обр} \leqslant 0{,}5$ *ма*, остаточное напряжение $U_{ост} \leqslant 1{,}5$ *в*, наибольший ток в импульсе $I_{пр.имп}=2$ *а* при длительности не более 10 *мсек* и $I_{пр.имп}=10$ *а* при длительности не более 10 *мксек*. При длительности от 10 *мксек* до 10 *мсек* наибольший ток (в амперах) в импульсе определяется по формуле

$$I_{пр\ имп}=12{,}7-2{,}7 \lg \tau_и,$$

где $\tau_и$ — длительность импульса, *мксек*.

Для динисторов Д227А—Д227И ток утечки $I_{ут} \leqslant 100$ *мка* (измеряется при прямом напряжении, равном $0{,}5\,U_{вкл.мин}$, например, для динистора Д227И при $U_{пр}=50$ *в*), наибольший прямой ток (постоянный) $I_{пр.макс}=200$ *ма*, время включения $\tau_{вкл} \leqslant 0{,}5$ *мксек*, время выключения $\tau_{выкл} \leqslant 10$ *мксек*, емкость динистора $C_д \leqslant 100$ *пф*.

Для динисторов Д228А—Д228И ток утечки $I_{ут} \leqslant 60$ *мка*, наибольший прямой ток (постоянный) $I_{пр.макс}=50$ *ма*, время включения $\tau_{вкл} \leqslant 0{,}1$ *мксек*, время выключения $\tau_{выкл} \leqslant 5$ *мксек*, емкость динистора $C_д \leqslant 80$ *пф*.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТИРИСТОРОВ ТИПОВ Д235А—Д235Г

Прямое напряжение (при нулевом токе управляющего электрода) $U_{пр} \geqslant 40$ *в* для тиристоров Д235А и Д235В, а для тиристоров Д235Б и Д235Г прямое напряжение $U_{пр} \geqslant 100$ *в*. Ток утечки при $0{,}5U_{пр}$ не более 1 *ма*.

Наибольшее обратное напряжение $U_{обр}=40$ *в* для тиристора Д235В и $U_{обр}=100$ *в* для тиристора Д235Г. Обратный ток не более 5 *ма*.

Ток выключения (при нулевом токе управляющего электрода) $I_{выкл} \leqslant 100$ *ма*.

Наибольший прямой постоянный ток $I_{пр\,макс}=2$ *а*, а наибольший ток в импульсе $I_{пр\,имп}=10$ *а* при длительности импульса не более 10 *мсек* и среднем токе до 1 *а*. При единичных импульсах длительностью до 50 *мксек* допускается амплитуда тока до 30 *а*.

Остаточное напряжение (при прямом токе 2 *а*) $U_{ост} \leqslant 2$ *в*.

Включающий ток управляющего электрода $I_{у} \leqslant 20$ *ма*. Наибольшая амплитуда импульса тока управляющего электрода 350 *ма* (при длительности импульса не более 50 *мсек*). Не допускается подача на управляющий электрод обратного напряжения более 1 *в*.

Время включения $\tau_{вкл} \leqslant 5$ *мксек*, а время выключения $\tau_{выкл} \leqslant 35$ *мксек*.

Наибольшая рассеиваемая мощность $P_{макс}=4$ *вт* (при температуре корпуса $t_{к}=70°$ С). При повышении температуры корпуса от 70 до 100° С наибольшая рассеиваемая мощность (в ваттах) определяется по формуле

$$P_{макс}=\frac{102-t_{к}}{8}.$$

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТИРИСТОРОВ ТИПОВ Д238А—Д238Е

Прямое напряжение (при нулевом токе управляющего электрода) $U_{пр} \geqslant 50$ *в* для тиристоров Д238А и Д238Г, $U_{пр} \geqslant 100$ *в* для тиристоров Д238Б и Д238Д, $U_{пр} \geqslant 150$ *в* для тиристоров Д238В и Д238Е. Ток утечки не более 30 *ма*.

Наибольшее обратное напряжение $U_{обр}=50$ *в* для тиристора Д238Г, $U_{обр}=100$ *в* для тиристора Д238Д, $U_{обр}=150$ *в* для тиристора Д238Е. Обратный ток не более 20 *ма*.

Ток выключения (при нулевом токе управляющего электрода) $I_{выкл} \leqslant 100$ *ма*.

Наибольший прямой постоянный ток $I_{пр\,макс}=10$ *а*, а наибольший ток в импульсе $I_{пр\,имп}=100$ *а* при длительности импульса не более 50 *мксек* и среднем токе не более 0,5 *а*.

Остаточное напряжение (при прямом токе 10 *а*) $U_{ост} \leqslant 2$ *в*.

Включающий ток управляющего электрода $I_{у} \leqslant 150$ *ма*. Наибольшая амплитуда импульса тока управляющего электрода 350 *ма*. Наибольшее напряжение между управляющим электродом и катодом 5 *в*.

Время включения $\tau_{вкл} \leqslant 10$ *мксек*, а время выключения $\tau_{выкл} \leqslant 35$ *мксек*.

Наибольшая рассеиваемая мощность $P_{макс}=20$ *вт* (при температуре корпуса $t_{к}=40°$ С). При повышении температуры корпуса от 40 до 100° С наибольшая рассеиваемая мощность (в ваттах) определяется по формуле

$$P_{макс}=\frac{100-t_{к}}{3}.$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Яков Соломонович Кублановский

Схемы на четырехслойных полупроводниковых приборах

Редактор *Ф. И. Тарасов*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Техн. редактор *Т. Г. Усачева*
Корректор *А. Д. Халанская*

Сдано в набор 12/XI 1966 г. Подписано в печать 7/I 1967 г.
Т-01710 Бумага типографская № 2 Формат $84 \times 108^1/_{32}$
Усл. печ. л. 1,26 Уч.-изд. л. 1,62
Тираж 30 000 экз. Цена 07 коп. Заказ 2703

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

Цена 07 коп.